

# A Nagy Vizsgálat: az SDSS közelről

## A csillagászat városa

Baltimore-ban, amely várost a fővárosi amerikaiak nemes egyszerűséggel Washington külvárosának tekintik, számos egyetem működik. Ezek egyike a Johns Hopkins Egyetem, a város északi felén, nagy parkokkal határolt részen terül el. Ez az asztrovároskép kiemelkedő területe: az egyetem északnyugati épülete, a Bloomberg Centre for Astronomy és a Space Telescope Science Institute (STScI). Az STScI működéséről sokat hallani; most vegyük szemügyre a másik épület viselt dolgait.

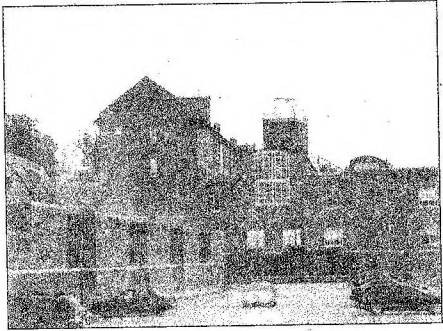
Az épület harmadik emeletén a Maryland Space Grant Consortium könyvtára, irodái, laboratóriumai és műszerfejlesztő műhelyei kaptak helyet. Az ő feladatuk a közép-atlanti régió, különösen a marylandi tengerés partvidék úrbéli tanulmányozása. Az ő tulajdonuk az a 20 hüvelykes távcső is, amely az ötödik emelet tetőzetén elhelyezett kupolában áll; péntekenként bemutatásokat, egyébként oktatási célokat szolgál.

A negyedik emeleten részecskefizikai kutatások folynak, a JHU Fizikai és Csillagászati Tanszéke, valamint a CERN és a Fermilab vendégkutatói részvételével. Az ötödik és hatodik emelet a Csillagászati Tanszéké; itt számos asztrofizikai, részecskefizikai és űrkutatási terület mellett helyet kap a Sloan Digitális Égboltfelmérés (SDSS) központja, Szalay Sándor professzor és munkatársai vezetésével. A programban az északi galaktikus pólus 10 000 négyzetfokos vidékének teljes felmérése folyik, azon elsődleges céllal, hogy az északi galaxisok millióiról koordináta-fényesség-morfológiai jellemző paramétereket és fotometriai vöröseltolódást nyerjenek. A megcélzott határ a 22 magnitúdós objektumok 99%-os detektálása.

A Bloomberg számos intézete közül most az SDSS világába merülünk el, aminek a nyilvános adatbázisnak szeptemberben beharangozott nagyarányú bővítése ad aktualitást. Az alábbiakban elsősorban az adatok szerkezetét és keresését ismertetjük.

## Ablak a Világegyetemre

Az SDSS képeit lapozgatva mindenkinek páratlan élményben lehet része: 20–21 magnitúdós galaxisokat, halmazokat, kölcsönható rendszereket látunk színesben, sok olyan objektumot, amiket talán még senki sem látott. A 14–15 magnitúdós galaxisok páratlan részletgazdagsága, a távoli galaxisok színeik alapján szemmel látható vöröseltolódása, a halvány, távoli halmazok néha ezer tagot megközelítő zsúfoltsága páratlan esztétikai élmény. A képek bravúros technikai színvonala, az adatok kezelése, rendszerezése és elérhetősége méltó nyitánya a 21. század csillagászatának. Ho-



A Bloomberg épülete Baltimore-ban, az MSCS távcsövével

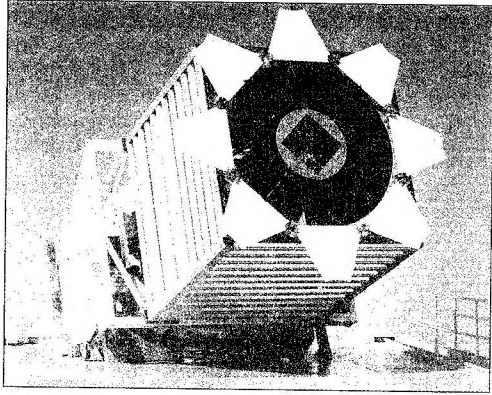
gyan keletkezett hát ez az archívum?

Az SDSS főműszere egy 2,5 méteres távcső Arizonában, SDSS típusú optikai elrendezéssel. A fénymenet Cassegrain-szerű, de a tükrök alakja „egyedi”, a leképezésben pedig egy képkorrekciós lencserendszer is részt vesz, közvetlenül a fény sugar kilépése előtt elhelyezve. A segédtükrő átmérője 108 cm.

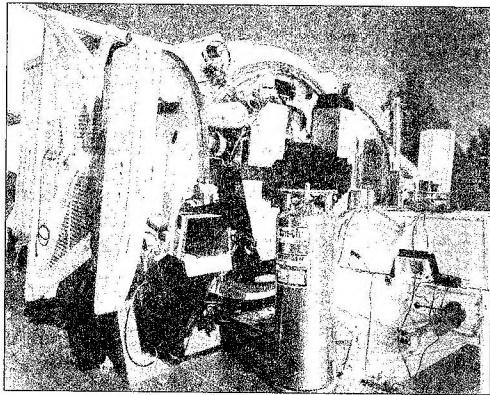
A távcső, ha épp nem használják, egyben letölthető házában tartózkodik; míg oldalát, a gyorsabb hűlés céljából, nagy hűtőbordákkal látták el. A CCD-kamera 30 db 2048x2048-as chipből van összerakva, amelyek egy 6x5-ös mátrixban vannak levegősen elhelyezve. A mátrix egymás után következő sorai a módosított Gunn-rendszer (ismét SDSS-specifikus vonás!) r, i, v, z, g szűrőiből állnak.

A kamera észlelés közben áll, a kiolvasás és a képek leptetése az ég forgását követi. Minden csillagról minden színben egy 53,196 másodperces kép készül, a teljes szűrőoron 4 perc alatt halad végig az égi egyenlítő egy-egy csillaga. Négy perc alatt tehát az égbolt hat, egyenként 7 ívperc széles és egy fok hosszú sávjáról készíthető kép, mégpedig öt színben. Az érzékelők oszlopai nem szorosan egymás mellett helyezkednek el, s hogy a csíkok közt kimaradó égboltrészről is nyerjenek adatot, minden égterületet egy második menetben is megfigyelnek. A megfigyelt területet így 3 koordináta azonosítja: a megfigyelés sorszáma (run, éjszakánként), a „camcol”, azaz hogy melyik érzékelő-oszlop látta az égterületet, és egy szám, amit az utólag mezőkre (field) darabolt csík (stripe) kap. Az egymás melletti mezők tehát a field-koordinátában 1-gyel különböznek, a nem szorosan szomszédos mezők a camcol koordinátában különbözőek, míg a deklinációban szomszédos mező egy másik run alatt található.

Az új koordinátázás kb. egy év múlva lép érvénybe. Itt egymásba ágyazott három-



A 2,5 m-es SDSS-teleszkóp (a műszereket ábrázoló képeket a Fermilab Visual Media Services készítette)

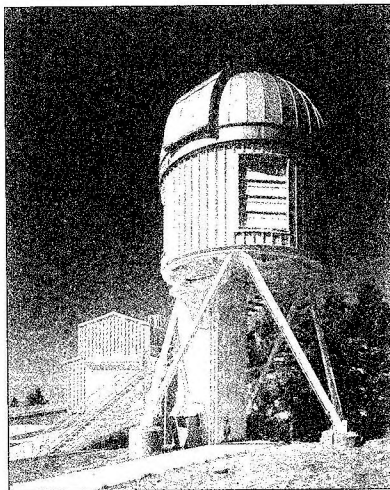


A távcső „alsó vége”, ahol a CCD-mozaik vagy a spektrográf lakik

szögek jelölik majd ki az égi pozíciókat; előnye lesz ennek a rendszernek, hogy az egyre nagyobb egybefüggő égterületek első koordinátái hasonlóak maradnak; így a koordináták hasonlósága és az égi közelség teljesen rokon fogalom lesz.

A távcsőhöz tartozó spektrográf egy 500 szálás objektumos fiber, amellyel 20 magnitúdóig lehet a galaxisokról használható spektrumokat készíteni. A távcsövet egy kisebb műszer kíséri (60 cm-es fotometriai távcső), amely a légnyomás, páratartalom és felhősödés hatásait figyeli meg, a későbbi pontos kalibráció céljából.

A távcsövek csak a legjobb éjszakákon dolgoznak. Minden méréskor azt az égterületet mérik, amely a szigorú minőségi kritériumokat még éppen teljesíti: így remélhető, hogy a legdélibb területek is az északiakhoz hasonló ütemben lesznek felmérhetők; továbbá a képek minősége is kielégítő módon homogén lehet.



A 60 cm-es fotometriai távcső kupolája

## Táblázatok és egyébek

Mindezeket az adatokat automatikus algoritmussal kimérik. Ez hozza létre a táblázatokat, amelyek minden egyes objektumról tartalmazzák a megfelelő adatokat. A fotometriai (Photoobj) táblázat több, mint 400 oszlopa a megfigyelt objektum koordinátáiról, különböző módon kimért fényességeiről, típusáról, mozgásáról; galaxisok esetén különféle felületi-fényesség profilok paramétereiről, valamint mindezek hibáiról tájékoztat. Négyzetfokonként átlagosan 100 ezer objektum található benne.

A fotometriai jellemzők alapján egy tanítható algoritmus, a PhotoZ hozza létre az azonos nevű táblázatot. Az algoritmus néhány (15–50 ezer), előzetesen kiválasztott mintagalaxis ötszín fotometria–spektroszkópia–vöröseltolódás adatpárjai alapján megtanulta, hogy milyen típusú galaxisok léteznek, és ezeknek milyen lefutású a spektruma. Az elmélet szerint a nagy vöröseltolódású objektumok esetén a kamera a spektrum kékebb részét mintavételezi; a tanítás célja pontosan felismerni, hogy milyen vöröseltolódás torzította a spektrumot. A kívánt pontosság néhány század a vöröseltolódásban, mindez legalább a  $z=0-0,8$  tartományon.

A harmadik fontos adatbázis (SpecObj) spektrumreferenciákat tartalmaz, mégpedig azokról a válogatott objektumokról, amelyekről spektrum is készült. 17–18 magnitúdós galaxisokról jó eséllyel találunk spektrumokat. Számos egyéb táblázat épül az előbb ismertetettek adataira, és azért készültek, hogy a kereséseket meg lehessen könnyíteni (pl. Galaxy). További táblázatok az egyes mezők azonosítását szolgálják (Plate, PlateDesign).

Az SDSS legnagyobb vívmánya, hogy szinte a mérésekkel párhuzamosan, majdnem az összes adat nyilvánosan elérhető, analizálható és közölhető. Elérhető a Photoobj, PhotoZ, SpecObj, Plate stb. adatbázis; az egyedi spektrumok, sőt, maguk a

távcsőből lejjövő, a standard valamint a nem-standard képfeldolgozással (zajszűrés, blooming- és kozmikussugár-szűrés, fotometriai alapú PSF-helyreállítás) helyreállított „végső” fits-képek is. A táblázatok tanulmányozását több száz függvény és algoritmus segíti.

A még két éven át nem nyilvános adatbázisba olyan kalibrációs adatok tartoznak, mint az SDSS „standard” PSF-e, a kétszer mért égterületek két mérésének adatpárja (itt csak az átlag nyilvános, valamint a sötét-és világosképek). A nyilvános adatból születő cikkek szerzőlistájába nem kell felvenni senkit az SDSS csoportjából (130 személy...), az SDSS egy két bekezdésnyi köszönetnyilvánítással megelégszik.

## Keresések, lehetőségek

Most pedig a lényeg: hogyan lehet ezt a rengeteg adatot használni? A választ különösen az „Elszánt Olvasó” (Serious Reader) figyelmébe ajánljuk.

Az adatokat a [skyserver.sdss.org](http://skyserver.sdss.org), [skyserver.jhu.pha.edu](http://skyserver.jhu.pha.edu), [skyserver.fnal.gov](http://skyserver.fnal.gov) címeken lehet elérni. Innen szerzteágazó menüpontok alapján tájékozódhatunk: az SDSS-ről, az adatokról, a keresésekről, a cikkarchívumról bőséges információt talál minden érdeklődő.

A táblázatok keresésére (Search link) a chicagói programozó központ vagy a Johns Hopkins SQL-szerverei adnak lehetőséget. Itt található az összes nyilvános adat, amelyekben egy bizonyos szempontból lebutított, bizonyos szempontból megtálcított SQL program írásával lehet tájékozódni. Lebutított, mert – a demokratikus elérés kedvéért – legföljebb 1000 találatot jelenít meg egyszerre, és legföljebb 90 másodpercig futtatja a programot. Nem lehet továbbá változókat és saját táblázatokat definiálni, az adatok védelme érdekében.

Megtálcított, hiszen a hozzáírt gyorsítók lehetővé teszik, hogy az egész Photoobj adatbázist, 60 millió objektummal, kétdimenziós kereséssel áttekintsük 50–60 másodperc alatt. A Photoobj egydimenziós keresése 3 és fél perc, kétdimenziós keresése kb. 1 nap, ha mindezen gyorsító algoritmusok nélkül tesszük, pl. belső szerverről.

A kiadható SQL parancs kizárólagos formátuma `SELECT ... FROM ... WHERE ...`. Ezek közül a `WHERE` elhagyható. A `SELECT` után azon oszlopok hivatkozása következik, amelyeket a megjelölt táblázatból valóban ki akarunk választani (hogy ne kelljen pl. 400 soros táblázattal harcolni, Photoobj keresése esetén). Hogy a keresett táblázat oszlopait hogy hívják, arról az Object Browser ad felvilágosítást. A `FROM` után a keresni kívánt adatbázis nevét, több-dimenziós keresésnél az adatbázisok nevét és hivatkozási betűjét kell megadni. A `WHERE` pedig egybeágyazott and/or logikai kapcsolatokban azt írja le, hogy mikor vagyunk kíváncsiak az adatokra, tehát mikor jelenítse meg a szerver azokat.

Egy példakeresés: „`SELECT ra,dec FROM photoobj WHERE ra between 170 and 180 and g<14`” azokat a 14 magnitúdós  $g$  fényességnél fényesebb csillagokat választja ki, amelyek 179 és 180 fokos rektaszenczió közt vannak. Az egész kereséshez kiváló SQL-gyorstalpaló tartozik, amely a honlapról elérhető; az adathalmazt és a használható függvényeket sok-sok példával szemlélteti az Object Browser, amely szinte bárholnan „klikkelhető”.

Különösen amatőr szempontból fontosabb keresés, amikor egy kívánt égterületről szeretnénk részletes képet kapni. Például, a „gyanús” csillag előtérscillaga-e a galaxisnak, vagy valóban szupernóva; a bizonytalan mozgás alapján kisbolygó bizonyosan nem csillag-e; asztrometriai és – bár nem a legjobb módszer – fotometriai tám-

pontok keresése a megfigyelt látómezőkben: mindennapos feladat az amatőr csillagász számára is.

Ehhez a SKYSERVER oldaláról elérhető Navigate keresést célszerű választani. Itt három lehetőség van: éggömb alapján, mező-azonosító vagy koordináták szerint keresni. Ebből nyilván a koordinátás keresés a leghasznosabb.

Kereséskor a jobb oldalon két kép látható, a keresett mező nagyobb környezete és maga a mező, mindkettő színes. Ezeket tetszés szerint lehet nagyítani-kicsinyíteni. A nagyobb környezet többek között arra szolgál, hogy a kisebb mező helyzetét egyszerű „klikkeléssel” módosíthassuk. A mezőt mutató képen az objektumokra klikkelve a legfontosabb fotometriai paraméterek jelennek meg. Az így kiválasztott objektumot a saját listánkhoz adhatjuk (add to notes), ez alapján később könnyebb megtalálni. Ugyaninnen is eljuthatunk az Explore ablakhoz. Itt a kiválasztott objektum fényességei, galaxis esetén morfológiája és bármilyen esetben spektruma figyelhető meg. Ez a legegyszerűbb módja az egyedi spektrumok keresésének!

Legalább az SDSS célterületén, nincs többé beégett galaxismag, amelyben nem látszik az esetleges szupernóva. Ha a feldolgozott képen be is van égyve a mag, töltsük le ugyaninnen a fits-képeket, a feldolgozás bármilyen stádiumában. A fits képek fit-ként vannak elnevezve, de valójában gzippelt fitsek, így letöltés után át kell nevezni őket \*.fit.gz-re! Kitömörítés után a szokásos módon analizálhatóak.

## Perspektívák

Az SDSS az eddigi legnagyobb galaxisfelmérés, az északi ég 10 ezer négyzetfokos területéről „minden” látható adatot összegyűjt. Század ívmásodpercnél jobb belső pontosságú asztrometriai mérései, század magnitúdó abszolút pontosságú fényességmérései, az előállított spektrumok százezrei, milliói, az automatikus analízis segítségével: az égbolt állandó jelenségeinek hihetetlen részletességű tárháza lesz. Az SDSS neve már akkor tiszteletet keltett, amikor még csak 600 négyzetfokos területről volt publikus megfigyelési anyag; most újabb 3000 négyzetfok válik mindenki számára elérhetővé, és várjuk 2004-et, amikor a teljes megfigyelés, a nem nyilvános kalibrációs anyaggal együtt, szabadon elérhető lesz.

Az adatok feldolgozása több évtizedes munkálatokra ad anyagot. A vörös törpék, halo-csillagok; egyáltalán a megfigyelt csillag- és galaxismezők különösen a statisztikus feldolgozás céljai lehetnek. A kisbolygók katalógusa eddig több mint 58 000 bejegyzést tartalmaz; ez is nyilvános, és elérhető a [www.sdss.org/science/index.html](http://www.sdss.org/science/index.html) címről, mint SDSS Moving Object Catalog. Csak e melléktermék-adatbázis feldolgozására egész munkacsoport szerveződött a Princeton Egyetem irányításával.

Már készül a PhotoZ kvazárokra fejlesztett változata. Az extragalaktikus HII régiók katalógusa csak terv, az SDSS honlapján külön kérik, hogy ha valaki ilyen katalógus összeállításával foglalkozik, és láthatóan sikereket ér el, küldje el az SQL-kérést és az eredményeket a központba. Ha reálisnak tűnnek az adatok, a program írója természetesen társszerzője lesz a végső katalógusnak.

A letölthető égterületek, a Palomar DSS-nél sokkal jobb határfényességgel és dinamikai tartománnyal, nyugodtan megkockáztathatjuk: szignifikánsan jobb felbontással mind a szakcsillagászatnak, mind az amatőr csillagászatnak igen nagy segítség lesz a jövőben. Ez a jövő pedig épp most folytatódik, az SDSS adatainak második publikálásával, amikor a megfigyelt égterület nagysága lehetővé teszi, hogy a csillagász az SDSS archívumot is fellapozza.

## Úton

A nyáron a Szegedi Egyetem támogatásával és a Johns Hopkins Egyetem meghívásával két hónapot tölthettem az Egyesült Államokban. E két hónap alatt elsősorban Baltimore-ban, az SDSS programban próbáltam részt venni, a PhotoZ újratanításához válogatva mintagalaxisokat, valamint a kisbolygós adatbázis statisztikus vizsgálataival. Természetesen ottlétem alatt számos, nem szorosan szakmai, ám igen érdekes kitérőt tehettem.

Princetonba egyetlen napra látogattam el, Željko Ivezić meghívására. Az egyetem aréna-típusú sportpályája mögött emelkedik az Asztrofizika Tanszék épülete, a tetején ígéretes méretű, régies állagú kupolával. Megbeszélésünk alatti kevés emlékem ehhez az épülethez kapcsolódik; Paczyński, Peebles és Gunn szobájának megtekintése kívülről, és egy érdekes ebéd, ahol Željkoval és Robert Luptonnal, aki az SDSS fotometriai hibáinak lassú, de biztos lefaragására áldozta négy évét, folytattunk vitát arról, hogy a sziderikusan nem forgó, tetszőleges pályán keringő bolygó felszínének átlaghőmérséklete mely ponton a legnagyobb.

Baltimore-ban a Bloombergen és az STSCI-n kívül elsősorban a holdfényes séták jelentettek csillagászatilag emlékezetes programot. Megemlíthető a belváros kikötőjében (itt régen hajógyárak, ma felhőkarcolók állnak) kiállított történelmi hajók rendje, a Baltimore-ban gyártott első hajótól kezdve a második világháborús tengeralattjárókig. A hajópark városképi jelentőségén túl meg kell említeni, hogy az exponált helyen kiállított hajó a Constellation nevet viseli, tatján egy csillagkép, feltehetően nem a Puppis stilizált ábrázolásával.

Nem-csillagászati szempontból igen jelentős a Művészeti Múzeum, az egykor magánkézen lévő Cone-galéria Matisse, Cézanne, Picasso, Gauguin, van Gogh, Renoir festményeiből álló gyűjteménye, a régi európai mesterek kiállítótermei; a folyosón Rodin Gondolkodója, illetve a téma egy kései változata, 1904–1917 közti keltezéssel. A korábbi, washingtoni Gondolkodó asztali szobor méretű; a Baltimore-i kétméteres óriás, ugrásra kész tömbje alá állni fiziológiailag félelmetes élmény. Az anyaghoz tartozik ókori kínai gyűjtemény, újkori európai és amerikai iparművészeti tárlatok, ausztráliai, afrikai, azték és eszkimó néprajzi és archeo-folklorisztikai kiállítás.

Washingtonban az US Naval Observatory épületeihez csak véletlenül, eltévedvén jutottam el. A lezárt területre bejutni nem is kísérleteztem, inkább mentem tovább az Arlington temetőbe, ahol a végtelen katonatemetők végében a néhány amerikai úrhajósok nyugszanak. Ugyanitt a Challenger katasztrófájára emlékező emlékmű áll. Nyilván véletlen, hogy a Kennedy-család is a közelben kapott végső nyughelyet, s csak a „romantikus” lélek találja ezt párhuzamosnak J.F. Kennedynek az úrkutatás fejlődésében játszott korszakos szerepével.

Washington központja sivatag. A Fehér Ház előtti tér (a Hair tüntetés-jeleneteiből már ismerős volt) mérföld hosszan elnyúlik a Capitoliumtól a Lincoln-emlékműig. Rajta kiégett fű, fák-bokrok alig, egyedül a Washington Monument barátságatlan, kétszáz méteres oszlopa ad tájékozódásra támpontot. A hatalmas tér északi és déli oldalán, a Fehér Háztól keletre húzódnak a Smithsonian múzeumai, köztük szépművészeti, történelmi, természettörténelmi múzeumok – és látogatásom elsődleges célpontja, a Nemzeti Légi- és Űrközlekedési Múzeum.

E múzeum egyik felén a repüléstörténet emlékei, a két világháború repülő szerkezetei, történelmi repülő konstrukciók vannak kiállítva; majdnem mindig eredeti szerkezeteket láthatunk. A múzeumba lépőt a Wright-fivérek gépének rekonstrukciója

fogadja, majd hamarosan a történelmi DC Douglas-modellek és a Boeing első repülőgépei következnek. Eredetiben látható az első szuperszonikus gép (Bell X-1), az első MACH-konstruktó (Douglas Skyrocket), a NASA egykori, szárny nélküli kísérleti szuperszonikus repülőgépe. A vitrinanyag a kisebb tárgyi emlékek (ruhadarabok, írományok) értékes gyűjteménye.

Az űrkutatást bemutató rész elején egy V 2 teste emlékezik a szomorú kezdetekre. A Szeptnyik és a jelentősebb űrszondák makettjei (Voyager, Pioneer, Galileo stb.) mögött a Skylab és az összekapcsolt Szojuz–Apollo bejárható, „korabeli” módon berendezett modelljei. Ugyanítt a HST is méretarányosan látható, számos szovjet és amerikai hordozórakéta társaságában. Az érdeklődők látogathatják a holdautó és a Viking makettjeit is.

Számomra az eredeti anyag volt igazán sokatmondó. Nagyobb emlékei a műanyagba csomagolt visszatérő egységek, összeégett pajzsokkal: a Mercury Friendship 7 (Glenn űrhajója), a Gemini 4 (White űrsétájáról híres), az Apollo 11 és az Apollo 15 kabinja, kissé meszebb az Apollo 11 ajtaja is. A kisebb emlékek: Gagarin mára tojássárga színűre fakult űrruhája, Glenn ezüstös űrruhája, Scott szakfandere, amely foltokban szinte fekete a ráakódott holdportól. Régi kamerák, holdközvet szedésére alkalmas eszközök. Kémműholdak képei: Zenit-kép Washington belvárosáról, színesben, 5 m felbontással; amerikai felvétel Bajkonuról, fekete-fehérben, 15 méteres felbontással. Popov rajza az első űrséta alkalmával, két fekete-kék sötét héj közt áttörő, vörös-sárga színekben fénylő napkorong: talán a Föld levegőburkát ábrázolja. Mellette a doboznyi karandás, amellyel e rajz készült. A legszemélyesebb tárgy, ami a múzeumba került, minden bizonnyal az a baba, amelyet Nyikolajev ajándékozott a kislányának, miután a babát magával vitte az űrbe.

A washingtoni kirándulás után már én is hazra készültem. Számos új ötlettel, tervekkel és elvégzendő feladatokkal a fejemben landoltam Ferihegyen. Hogy mi válik ezekből valóra, azt a jövő dönti el.

A kiutazásomban nyújtott támogatásért köszönettel tartozom a Johns Hopkins Egyetem Fizikai és Csillagászati tanszékének, a Szegedi Egyetem Kísérleti Fizikai Tanszékének és Optika és Kvantumelektronikai Tanszékének, az OTKA T034615 és a Pro Renovanda Cultura Hungariae Alapítvány Diákok a Tudományért 2002/máj. 21. hivatkozású pályázatainak. Köszönöm továbbá az SZTE oktatói és hallgatói, a Magyar Csillagászati Egyesület és a Princeton Egyetem Csillagászati Tanszéke önzetlen segítségét.



Egy kisfiú az Apollo 11 kabinjának összeégett hőpajzsát tanulmányozza. A Smithsonian szóróanyagából

SZABÓ M. GYULA